

油气管道裂纹缺陷检测技术

探讨

郑贤斌*

中国石油安全环保技术研究院

郑贤斌. 油气管道裂纹缺陷检测技术探讨. 石油规划设计, 2008, 19(2): 36~38, 41

摘要 油气管道随着服役时间的增加正趋于老龄化, 管道出现裂纹现象是重要特征之一, 它影响了管道的完整性。以前主要是检测管道的金属损失特性, 现在关注管道的裂纹。由于管道的材质、所处的环境以及承受荷载等条件不同, 在管壁或焊接部位会出现不同程度的裂纹, 从而导致管道破裂产生油气泄漏。本文主要介绍了油气管道出现的裂纹类型以及目前使用的裂纹缺陷检测技术, 为油气管道裂纹检测技术研究提供了参考。

关键词 油气管道 裂纹 缺陷 检测技术 检测仪

管道运输具有运输量大、安全性高、运输成本低的优势, 是输送油气产品的最佳手段。目前, 油气管道已进入了高压输送时代, 如我国的西气东输管道输送压力为 10MPa, 国外最高输送压力已达 15MPa。油气管道在服役过程中, 由于腐蚀、磨损以及意外损伤等原因, 不可避免地会造成管道的局部减薄、损坏, 甚至发生泄漏事故, 如不及时进行维修, 轻则影响油气产品的输送、供应, 重则会造成输送系统瘫痪甚至起火、爆炸等事故。随着管道的建成投产, 油气管道的维护与修复工作相继开展。30年来, 已成功使用无损检测技术 (NDT) 在不影响管道正常运行的情况下对指定管段或管网的管壁进行检测。最初设计的仪器主要用来检测管道形状的异常情况, 最新设计的仪器精度和分辨率则越来越高, 可对管道腐蚀进行检测并确定其大小, 也可对裂纹和类似裂纹的缺陷进行在线检测, 如有需要还能确定其尺寸 (长度、宽度、深度和位置等)。

由于管道裂纹和缺陷对管道安全运行影响较大, 裂纹缺陷结构本身也较为复杂, 本文对油气管道裂纹缺陷检测技术进行了全面的分析和比较, 有助于更深入地了解该技术研究现状和发展趋势。

1 管道裂纹缺陷的类型

为了正确理解裂纹缺陷检测仪对管道完整性的检测, 就需要分析管道的裂纹和缺陷的类型、性质。由智能检测仪器所检测到的裂纹和缺陷一般位于管壁或者内外涂层。管道的裂纹和缺陷通常可分为两类: 直接裂纹和缺陷, 间接裂纹和缺陷。直接裂纹和缺陷是指和管壁状态直接相关的裂纹和缺陷。这些裂纹和缺陷对管道或管段的完整性有直接影响, 如腐蚀、裂纹或擦伤。间接裂纹和缺陷是指与管道的完整性有关材料损坏或系统故障。随着服役时间的增加, 它们可能会导致管道出现直接裂纹和缺陷。典型的例子是管道阴极保护系统的故障或内外防腐涂层的损坏。管道的裂纹和缺陷还可分为几何形状异常、金属损伤、裂纹和类似裂纹的缺陷。

管道在使用过程中最可能出现的裂纹: 疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹 (中度或高 pH 值应力腐蚀裂纹)、氢感应裂纹、硫化物应力腐蚀裂纹、热影响区焊缝裂纹。这些裂纹可根据管道金属、环向焊缝和热影响区 (HAZ) 来判断。

* 郑贤斌, 男, 1978年生, 工程师。2006年毕业于中国石油大学 (华东) 机械设计及理论专业, 获博士学位。现在中国石油安全环保技术研究院从事油气管道安全运行保障技术、石油装备安全可靠性工程、危险源辨识与安全控制工作。通信地址: 北京市海淀区志新西路, 100083

1.1 应力腐蚀裂纹

对管道裂纹和类似裂纹缺陷的成因、传播过程,以及避免方法已进行了大量研究。断裂力学研究表明在液体管道上,循环荷载可能会使管道形成纯疲劳裂纹或腐蚀疲劳。当管道某处的局部应力强度超过材料的实际承受能力时,就会产生应力腐蚀裂纹(SCC)。影响SCC的敏感参数有管壁的应力状态、管道钢的特性、管道周围的环境条件(如涂层情况、土壤特性等)。作用在管道的环向应力对管道完整性影响最大。由其引起的裂纹都是沿轴向分布,但也有例外情况,特别是在环向焊缝处,管道会从圆周应力腐蚀裂纹处产生疲劳。

1.2 鳞片结构

鳞片结构主要存在于无缝钢管中。在检测时,它可以看作是类似裂纹的缺陷,一般存在于管壁的中间位置。鳞片结构表示一类裂纹缺陷,它通常是在管道的制造过程中引入管壁的。由于鳞片结构这类缺陷的方向通常都平行于管道表面,即平行于作用的环向应力,所以它是与裂纹没有关系的一种缺陷。然而,一旦鳞片结构向管壁表面倾斜或者进入环向焊缝,就会危害管壁的完整性。如果出现前一种情况,鳞片结构会在通向管道表面处断裂;出现后一种情况,它会与其他管道缺陷相互作用或破坏环向焊缝区的完整性。

1.3 氢感应裂纹

氢感应裂纹(HIC)通常出现在酸性环境中,当氢原子融化到金属中时,它们就会在金相的空穴内重新组合,形成氢分子,压力就会增大。由于金属空穴或裂纹边缘三维应力的相互作用,金属的脆化度就会增大,裂纹就会扩大。这些裂纹的方向通常平行于管道表面,因此如果尺寸超过超声波腐蚀检测仪的最小测量范围,就会被检测出来。但这类氢感应裂纹的径向部分却检测不出来,其原因是超声波光束与氢感应裂纹的径向部分平行,检测不到。

2 管道裂纹检测

管道裂纹的几何形状有:沿纵向延伸的径向内外表面裂纹(大部分存在于纵向焊缝的热影响区,包括应力腐蚀裂纹);沿圆周方向延伸的径向内外表面裂纹(如果管道承受附加的弯曲荷载,大多存在于环向焊缝的热影响区);不同形状的内表面裂纹,大部分沿圆周方向分布(酸性气体管道中的氢感应裂纹的逐步扩展)。

至今仍未研制出一种裂纹检测仪能可靠地检测所有可能出现的裂纹及其形状,各种检测仪都具有

一定的适用性。如目前市场上使用的超声波裂纹检测仪是用来检测管壁、焊缝处应力腐蚀区的环向裂纹的;存在于管道环向焊接区的径向圆周裂纹需要一个可以安装在不同方位的超声波变频器和一个修正的传感器载波信号进行检测。

智能检测仪能够检测到的裂纹最小尺寸取决于材料特定的临界裂纹长度。该长度是指某裂纹在出现灾难性后果之前能扩展的最大长度。此外,要保证管道的最大裂纹在远远小于这个临界裂纹长度时就能利用NDT技术检测出来,这样就有足够的时间制定出合适的维修方案并进行优化。

3 裂纹缺陷检测仪的选择

随着不同缺陷检测仪的出现以及不同NDT的应用,根据不同的检测要求选择合适的检测仪器进行检测尤为重要。如金属损伤测量工具也能检测特定类型的裂纹,而裂纹检测仪在一定测量条件下也能确定凹陷或其他几何形状的变形。这些检测工具能进行检测和定位,也能检测裂纹和类似裂纹的缺陷,并确定其尺寸。

3.1 超声波检测仪

当前,使用超声波检测技术已开发出各类功能的管道超声波检测仪^[1]。其中,已有两种特殊设计进行裂纹检测,其他种类基本用来检测金属损伤,但是也能对特殊类型的裂纹形状进行检测并定位,如EMG-P06数字化高精度裂纹深度测量仪,主要应用交流电位法与计算机技术结合的工作原理,将探针跨于裂纹的两侧,垂直于被测表面均衡用力压下探头,在主机LCD显示屏上直接读取测量数据,测量精度可达到满量程时相对误差不大于10%。其探头可选用标准型和专用型两种。根据4支探针的不同排列方式,标准探头分为单列式和双列式两种类型。根据不同工程应用场合及被测对象的特殊要求定制专用探头。

3.2 弹性波检测仪

最初,裂纹缺陷检测工具基本用来进行金属损伤的检测和测量。英国的Gas设计了一种应用弹性波技术的裂纹检测仪^[2],它可以在没有液体批量时检测气体管道,其技术的关键是在弹性波变频器上安装轮式探测器。1993年弹性波检测仪投入市场,后来又不断进行了技术改进,其技术关键在于数据处理:裂纹检测产生的大量数据远远超过以前各类金属损伤测量时出现的数据。这些数据必须进行处理以分辨缺陷的真伪,确认出缺陷类型并测量尺寸,

然后进行精确定位。文献[3]提出基于弹性波的波动方程反演提出管道的损伤检测方法,根据直杆的波动方程,用直杆的横截面积作为反演参数模拟管道损伤,利用序列二次规划优化对其进行数值反演,确定缺陷类型并测量尺寸,实现裂纹缺陷的精确定位,达到裂纹损伤识别。

3.3 角度光束超声波检测仪

20世纪90年代中期,使用角度光束探测器的超声波裂纹检测仪研发成功并投入市场^[4]。它主要用于检测基础材料和长缝焊中的轴向裂纹,也能检测出应力腐蚀裂纹。超声波传感器与管壁按一定角度固定,可以保证超声波光束在小于45°的范围内传播,这是进行裂纹检测的最好排列方式。

根据检测仪的尺寸大小,最多可以使用1024个超声波变频器。它能够检测到的最小裂纹的长度是30mm,深度是1mm。所收集的大量数据证明其精度为长度100%、深度85%。

该检测仪适于检测管道轴向裂纹或纵向裂纹,不受裂纹在管壁内所处位置(在管壁的内、外表面或中间)的影响。圆周方向的裂纹也能检测出来,只是还需要一个修正的传感器载波信号,该载波信号需要旋转90°。

与漏磁检测仪和弹性波检测仪不同,角度光束超声波检测仪不能直接用于气体管道的检测,在气体管道上检测裂纹时,需要一种合适的液体批量作为耦合介质。目前该技术可通过计算程序进行优化,且具有一定的可靠性。

3.4 超声波壁厚测量仪

超声波金属损伤测量仪可以通过超声波传感器的排列来辨识。壁厚测量需要与管壁成90°安装的传感器。设计的测量仪虽然主要用来进行金属损伤测量,但也能确定一定类型的裂纹。该仪器的工作原理为:安装在管道内表面的超声波变频器直接发射信号,其中一部分信号反射回来被变频器接收。超声波变频器与管道内表面的距离称为投射距离,其余信号穿过管壁被外表面反射回来。外表面可能是管道的公称外壁或金属腐蚀裂纹的底部。被管道外壁反射回来的信号又被变频器接收,这样就可以得到管道的壁厚值。根据投射距离和测量的壁厚值,就可以判断管道的内壁或外壁是否存在裂纹。该类仪器特别适于检测方向与超声波光束成直角或近似直角的裂纹,也可以检测存在于管壁内的裂纹,如鳞片结构和氢感应裂纹^[5]。

3.5 轴向漏磁检测仪

漏磁检测仪一般包括一个低碳钢中心体,它的

周围沿环向安装了磁铁^[6]。这样中心体被磁化,形成方向相反的两个磁极,与管壁接触的弹性钢刷形成磁路,使管道均匀地沿轴向被磁化。当检测仪通过管道时,没有被腐蚀的管道的磁通量一般被限制在钢管内;而在腐蚀区或任何改变磁通路径均匀性的地方,部分磁通量就会漏到钢管外。这些漏磁很容易被安装在检测仪主体上的磁铁检测出来。这类检测仪也能检测裂纹,根据裂纹大小,漏磁检测仪能检测与感应磁场成直角的裂纹的形状,如环向焊缝裂纹。

3.6 横向磁场漏磁检测仪

由于漏磁检测仪能很好地检测与感应磁场成直角的裂纹,老式的轴向漏磁检测仪在检测轴向分布的狭窄裂纹时效果较差^[7]。但这些狭长窄小的缺陷却对管道完整性造成很大的危险,尤其是管道接头处纵向焊缝内的金属腐蚀缺陷和裂纹。环向裂纹和未焊透这样的缺陷曾经使在用管道水力测试失败。特别在承受循环压力的液体管道中的轴向裂纹更为危险。狭窄轴向外腐蚀(NAEC)的长轴向缺陷需要开发特殊漏磁检测仪系统——横向磁场漏磁检测仪。采用常规的漏磁检测仪进行检测时,与磁场垂直的裂纹缺陷处泄漏的磁通量比与其平行的缺陷处大得多。通过在管道周围应用横向磁场,就比较容易分辨与其正交的裂纹。1998年,PII研制的横向磁场漏磁检测仪研发成功并投入市场。

在最终确定采用哪种检测仪前,应分析其检测功能,并进行详细的比较。特殊类型的检测仪能够检测的裂纹或类似裂纹的缺陷类型,裂纹缺陷检测仪的裂纹检测能力见表1。

4 结论

检测油气管道由过去主要检测金属损伤和几何形状异常转变为当前裂纹和类似裂纹的缺陷检测和尺寸测量。为了检测特殊类型的裂纹,选用检测仪的基本标准是几何形状异常。特殊类型裂纹检测仪的灵敏性、适应性和可靠性取决于所使用的NDT。现有两类工具可进行裂纹检测:一类属于金属损伤测量仪器范围,这类仪器不是专门设计用来检测裂纹的,然而却能够检测某些裂纹;另一类是在线检测仪器,专门设计用来检测裂纹,如成角光束超声波检测仪和弹性波检测仪。目前,正研制一种新型超声波裂纹检测仪,能在不需要液体批量的情况下直接检测气体管道。

随着服役时间的增加,管道受腐蚀、裂纹以及类似裂纹缺陷的影响使其安全可靠性逐渐降低。

(下转第41页)

5 建议

面对成品油管道内腐蚀造成的严重危害,应根据管道建设和运行情况分类处理。一是对于已经建成并投产的管道应建立起成品油管道清管作业规范,根据管道运行的数据进行分析,计算出管道的当量直径和流通能力,定期发送清管器,清理管道的铁锈以及沉积物,以提高管道的输送能力;二是对于正在规划、规划后尚未修建或正在修建的成品油管道,增加相应的投资,运用成品油管道的内涂层技术,在做好管道外防腐的同时,做好管道的内防腐。

随着我国对石油能源需求量的增加,在未来将建设越来越多的大型长输成品油管道,建议在长输成品

油管道建设中广泛应用管道内涂层技术。

参 考 文 献

- [1] 曾多礼等. 成品油管道输送技术. 北京: 石油工业出版社, 2002
- [2] 王德增等. 对成品油管道中沉积物的分析. 油气储运, 2005(2): 59~60
- [3] 高庭禹等. 兰-成-渝成品油管道内杂质的成因及对策. 油气储运, 2006(10): 52~54
- [4] 薛登存等. 油管内壁防腐防结蜡涂料的喷涂实验及应用. 涂料工业, 2002(4)

收稿日期: 2007-09-03

编辑: 马三佳

(上接第38页)

表1 裂纹缺陷检测仪的裂纹检测能力*

裂纹类型	检测仪类型				
	角度光束 超声波检测仪	弹性波 检测仪	横向磁场 漏磁检测仪	轴向磁场 漏磁检测仪	金属损伤 超声波检测仪
应力腐蚀裂纹	x	x	x ¹		
圆周应力腐蚀裂纹	x				
氢感应裂纹					x
鳞片结构					x
疲劳裂纹/焊缝边缘裂纹	x	x	x ¹		
箍圈裂纹	x	x	x		
收缩裂纹	x	x	x		
环向焊缝裂纹	x ²	x ³		x	
未熔透裂纹	x	x	x		
轴向重叠裂纹	x	x	x		
麻点裂纹	x	x			
凹陷裂纹	x		x		
切割裂纹	x	x	x		

* x——检测仪基本属于金属损伤检测仪,也有一些检测裂纹的能力,但不是裂纹检测工具;1——相对于角度光束超声波检测仪和弹性波检测仪的大裂纹;2——需要传感器的不同排列,即一个特殊的传感器载波信号;3——设计用来检测纵向裂纹的传感器排列;相对于轴向裂纹的最小检测尺寸,圆周方向的裂纹尺寸达到一定范围才能检测到。

尤其当管壁出现裂纹,并继续扩展,就会使液体管道出现泄漏、气体管道出现破裂等潜在的危险。使用有效的裂纹缺陷检测技术对管道裂纹和缺陷进行精确、可靠的检测,并获取必要的信息,以保证管道的安全运行和及时维修。由此可以预知,油气管道裂纹缺陷检测技术必将随着材料与工业技术的发展而发展,并与管道的设计、制造、安全评价以及维护维修等结合,形成一体化的油气管道安全保障技术体系。

参 考 文 献

- [1] J 西拉德. 超声检测新技术. 北京: 科学出版社, 1991
- [2] Belier M, Holden E, Uwdac N. Cracks in pipelines and how to find them. Pipes & pipelines international, 2001, 46(11~12), 26~34

- [3] 李洪升等. 基于弹性波反演的压力管道损伤识别. 计算力学学报, 2004, 21(1): 77~80
- [4] 全国锅炉压力容器无损检测人员资格考核委员会组织编写. 超声波探伤. 北京: 中国锅炉压力容器安全杂志社, 1995
- [5] 卢盛华等. 钢管对接环焊缝超声波检测对比试块改进的设想. 石油工程建设, 2007, 33(3): 50~53
- [6] 王玉忠, 陈建兰. 漏磁检测技术在我国管道中的应用. 化学清洗, 1998, 14(5): 24~27
- [7] Z Chen, K Miya. A new approach for optimal design of eddy current testing probes. Journal of Nondestructive Evaluation, 1998, 17(3): 105~116

收稿日期: 2007-03-03

编辑: 邵 婕

油气管道裂纹缺陷检测技术探讨

作者: [郑贤斌](#), [Zheng Xianbin](#)
作者单位: [中国石油安全环保技术研究院](#)
刊名: [石油规划设计](#)
英文刊名: [PETROLEUM PLANNING & ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2008, 19(2)

参考文献(7条)

1. [J 西拉德](#) [超声检测新技术](#) 1991
2. [Belier M;Holden E;Uwdac N](#) [Cracks in pipelines and how to find them](#)[外文期刊] 2001(11-12)
3. [李洪升](#) [基于弹性波反演的压力管道损伤识别](#)[期刊论文]-[计算力学学报](#) 2004(01)
4. [全国锅炉压力容器无损检测人员资格考核委员会](#) [超声波探伤](#) 1995
5. [卢盛华](#) [钢管对接环焊缝超声波检测对比试块改进的设想](#)[期刊论文]-[石油工程建设](#) 2007(03)
6. [王玉忠;陈建兰](#) [漏磁检测技术在我国管道中的应用](#) 1998(05)
7. [Z Chen;K Miya](#) [A new approach for optimal design of eddy current testing probes](#)[外文期刊] 1998(03)

本文读者也读过(10条)

1. [李久春](#). [LI Jiu-chun](#) [基于SVR的管道裂纹漏磁场的预测分析模型](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#)2008, 24(15)
2. [宋小春](#). [黄松岭](#). [赵伟](#). [Song Xiaochun](#). [Huang Songling](#). [Zhao Wei](#) [天然气长输管道裂纹的无损检测方法](#)[期刊论文]-[天然气工业](#)2006, 26(7)
3. [徐文华](#). [梁政](#). [何茂林](#). [吕治忠](#). [钟功祥](#). [李萍](#) [管道位置检测技术方案研究](#)[期刊论文]-[西南石油学院学报](#) 2006, 28(5)
4. [蒋奇](#). [王太勇](#) [油气管道腐蚀检测技术的研究](#)[期刊论文]-[石油化工自动化](#)2002(5)
5. [彭星煜](#). [张鹏](#). [李宗新](#). [阮尚志](#). [秦岭](#). [胡亚梅](#) [油气长输管道外腐蚀维护风险缓解程度模型](#)[会议论文]-2006
6. [车飞](#). [高海霞](#). [刘新鄂](#). [张健](#). [CHE Fei](#). [GAO Hai-xia](#). [LIU Xin-e](#). [ZHANG Jian](#) [ACVG、DCVG技术在输气管道外检测中的应用](#)[期刊论文]-[管道技术与设备](#)2011(3)
7. [薛正林](#). [刘觉非](#). [黄烈勇](#). [韩焯](#) [管道对接环焊缝裂纹的防治措施](#)[期刊论文]-[油气储运](#)2005, 24(7)
8. [李琼玮](#). [刘故箐](#). [常勇峰](#). [路民旭](#) [光纤传感器在管道腐蚀监测中的应用](#)[期刊论文]-[国外油田工程](#)2009, 25(6)
9. [宋振华](#). [王志华](#). [马宏伟](#). [Zhenhua Song](#). [Zhihua Wang](#). [Hongwei Ma](#) [基于小波分析的超声导波管道裂纹检测方法研究](#)[期刊论文]-[固体力学学报](#)2009, 30(4)
10. [于培林](#). [姚安林](#). [刘晓艳](#). [刘艳华](#). [YU Pei-lin](#). [YAO An-lin](#). [LIU Xiao-yan](#). [LIU Yan-hua](#) [油气管道外检测技术的综合应用](#)[期刊论文]-[全面腐蚀控制](#)2008, 22(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_syghsj200802014.aspx